



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ
СОЮЗА ССР

МАГНИТОСФЕРА ЗЕМЛИ

МОДЕЛЬ МАГНИТНОГО ПОЛЯ МАГНИТОСФЕРНЫХ ТОКОВ

ГОСТ 25645.127—85

Издание официальное

3 коп.

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО УПРАВЛЕНИЮ
КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ И СТАНДАРТАМ

Москва

МАГНИТОСФЕРА ЗЕМЛИ

Модель магнитного поля магнитосферных токов

Earth's magnetosphere. Magnetic
field model of magnetospheric currents**ГОСТ****25645.127-85**

ОКСТУ 0080

Дата введения 01.01.87

Настоящий стандарт устанавливает модель магнитного поля токов, текущих в магнитосфере Земли и на магнитопаузе (магнитосферных токов) на геоцентрических расстояниях от 1 до 7 земных радиусов.

Стандарт предназначен для использования в расчетах при определении условий функционирования технических устройств в космическом пространстве.

1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Модель магнитного поля магнитосферных токов (далее — модель) описывает регулярную часть магнитного поля, ее зависимость от параметров межпланетной среды и отражает сжатие магнитосферы Земли на дневной стороне из-за взаимодействия с солнечным ветром, асимметрию день — ночь (поле на ночной стороне ослаблено), суточные и сезонные вариации поля.

1.2. Модель представляет вектор индукции магнитного поля магнитосферных токов как функцию от солнечно-магнитосферных координат. Она получена линейной аппроксимацией эмпирической модели, которая основана на измерениях магнитного поля на искусственных спутниках Земли.

1.3. Модель учитывает угол наклона геомагнитного диполя к плоскости ортогональной линии Земля — Солнце ψ , изменяющийся в интервале от -35 до $+35^\circ$.



1.4. Вектор индукции магнитного поля \vec{B}_M в магнитосфере Земли вычисляют по формуле

$$\vec{B}_M = \vec{B}_1 + \vec{B}_2, \text{ нТл}, \quad (1)$$

где \vec{B}_1 — вектор индукции геомагнитного поля внутриземных источников, вычисляемый по ГОСТ 25645.126—85 в сферической системе координат;

\vec{B}_2 — вектор индукции магнитного поля магнитосферных токов, вычисляемый в солнечно-магнитосферной системе координат.

Матрица перехода из сферической системы координат в солнечно-магнитосферную систему координат приведена в справочном приложении 1.

Пример расчета \vec{B}_M приведен в справочном приложении 2.

1.5. Среднее квадратическое отклонение вектора индукции \vec{B}_2 от экспериментальных данных составляет ~ 20 нТл.

Сведения о нерегулярных вариациях индукции магнитного поля магнитосферных токов приведены в справочном приложении 3.

2. РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ МАГНИТОСФЕРЫ

2.1. Основными параметрами магнитосферы являются геоцентрическое расстояние до точки пересечения магнитопаузы линией Земля — Солнце r_1 и угол наклона геомагнитного диполя к плоскости ортогональной линии Земля — Солнце ψ .

2.2. Геоцентрическое расстояние r_1 вычисляют по формуле

$$r_1 = 10000 \cdot (n_p + 4n_\alpha)^{-\frac{1}{6}} \cdot V^{-\frac{1}{3}} \cdot r_3, \text{ км}, \quad (2)$$

где n_p — концентрация протонов в солнечном ветре, м^{-3} ;

n_α — концентрация α -частиц в солнечном ветре, м^{-3} ;

V — скорость солнечного ветра, м/с ;

r_3 — средний радиус Земли, км.

Примечание. Значения n_p , n_α , V — по ГОСТ 25645.136—86.

2.3. Угол ψ вычисляют по формуле

$$\sin \psi = -\sin \beta \cdot \cos \alpha_1 + \cos \beta \cdot \sin \alpha_1 \cdot \cos \varphi_m, \quad (3)$$

где $\alpha_1 = 11,0^\circ$ — угол между осью вращения Земли и осью геомагнитного диполя;

β — склонение Солнца, . . . °, (изменяется от $-23,5$ до $+23,5^\circ$);

$\varphi_m = (K \cdot UT - 69^\circ)$ — угол между плоскостью полуночного меридиана и меридиональной плоскостью, содержащей северный магнитный полюс, . . . °;

UT — всемирное время, ч;

$$K = 15^\circ/\text{ч};$$

$$\sin \beta = \sin \alpha_2 \cdot \cos \varphi_{SE} \quad (4)$$

$\alpha_2 = 23,5^\circ$ — угол наклона плоскости экватора к плоскости эклиптики;

$\varphi_{SE} = 360^\circ \cdot (172 - n) / 365$ — угол между линией Земля — Солнце и проекцией оси вращения Земли на плоскость эклиптики, . . . °;

n — порядковый номер дня в году (с 1 января).

3. РАСЧЕТ ИНДУКЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ МАГНИТОСФЕРНЫХ ТОКОВ

3.1. Индукцию магнитного поля магнитосферных токов вычисляют в солнечно-магнитосферной системе координат по формуле

$$B_2 = \sqrt{B_{2X}^2 + B_{2Y}^2 + B_{2Z}^2}, \text{ нТл}, \quad (5)$$

где B_{2X} — проекция вектора \vec{B}_2 на ось O_X , направленную на Солнце;

B_{2Z} — проекция вектора \vec{B}_2 на ось O_Z , лежащую в плоскости, проходящей через ось O_X и ось геомагнитного диполя;

B_{2Y} — проекция вектора \vec{B}_2 на ось O_Y , дополняющую правостороннюю систему координат.

(Измененная редакция, Изм. № 1).

3.2. Составляющую B_{2X} вычисляют по формуле

$$B_{2X} = f_0 + f_1 \frac{X}{r_1} + f_2 \frac{Y}{r_1} + f_3 \frac{Z}{r_1} + \frac{\psi}{10^\circ} \left(f_4 + f_5 \frac{X}{r_1} + f_6 \frac{Y}{r_1} + f_7 \frac{Z}{r_1} \right), \text{ нТл}, \quad (6)$$

где

$$\begin{aligned} f_0(\psi) &= q_0 \cdot \sin \psi; \\ f_1(\psi) &= q_1 \cdot \sin \psi \cdot \cos \psi; \\ f_2(\psi) &= q_2 \cdot \sin \psi; \\ f_3(\psi) &= q_3 \cdot \cos^2 \psi + q_4 \cdot \sin^2 \psi; \\ f_4(\psi) &= q_5 \cdot \cos \psi; \\ f_5(\psi) &= q_6 \cdot \cos^2 \psi + q_7 \cdot \sin^2 \psi; \\ f_6(\psi) &= q_8 \cdot \cos \psi; \\ f_7(\psi) &= q_9 \cdot \sin \psi \cdot \cos \psi. \end{aligned}$$

3.3. Составляющую B_{2Y} вычисляют по формуле

$$B_{2Y} = \frac{\psi}{10^\circ} \left(g_1 \frac{X}{r_1} + g_2 \frac{Y}{r_1} + g_3 \frac{Z}{r_1} \right), \text{ нТл}, \quad (7)$$

где

$$\begin{aligned} g_1(\psi) &= s_0 \cdot \cos \psi; \\ g_2(\psi) &= s_1; \\ g_3(\psi) &= s_0 \cdot \sin \psi. \end{aligned}$$

3.4. Составляющую B_{2Z} вычисляют по формуле

$$B_{2Z} = h_0 + h_1 \frac{X}{r_1} + h_2 \frac{Y}{r_1} + h_3 \frac{Z}{r_1} + \frac{\psi}{10^\circ} \left(h_4 + h_5 \frac{X}{r_1} + h_6 \frac{Y}{r_1} + h_7 \frac{Z}{r_1} \right), \text{ нТл}, \quad (8)$$

где

$$\begin{aligned} h_0(\psi) &= -q_0 \cdot \cos \psi; \\ h_1(\psi) &= -q_3 \cdot \sin^2 \psi - q_4 \cdot \cos^2 \psi; \\ h_2(\psi) &= -q_2 \cdot \cos \psi; \\ h_3(\psi) &= -q_1 \cdot \sin \psi \cdot \cos \psi; \\ h_4(\psi) &= q_5 \cdot \sin \psi; \\ h_5(\psi) &= q_9 \cdot \sin \psi \cdot \cos \psi; \\ h_6(\psi) &= q_8 \cdot \sin \psi; \\ h_7(\psi) &= q_6 \cdot \sin^2 \psi + q_7 \cdot \cos^2 \psi; \end{aligned}$$

X, Y, Z — солнечно-магнитосферные координаты в единицах r_3 ;

ψ — угол наклона геомагнитного диполя, . . . °.

Значения коэффициентов $s_0, s_1, q_0, \dots, q_9$ приведены в таблице, нТл:

s_0	s_1	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5	q_6	q_7	q_8	q_9
-0,2	-2,5	8,5	-39,6	1,2	21,8	-17,9	2,9	-3,0	5,5	0,2	-8,5

3.5. Пример программы для расчета составляющих вектора индукции магнитного поля \vec{B}_2 приведен в справочном приложении 4

ПРИЛОЖЕНИЕ 1
Справочное

ПЕРЕВОД ВЕКТОРА ИНДУКЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ
ИЗ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КООРДИНАТ В СОЛНЕЧНО-
МАГНИТОСФЕРНУЮ

По ГОСТ 25645.126—85 вектор индукции магнитного поля \vec{B}_1 задан в точке (r, θ, λ) составляющими X', Y', Z' с использованием обозначений:

- r — геоцентрическое расстояние, км;
 λ — долгота, отсчитываемая от плоскости гринвичского меридиана, ...°;
 φ — широта, отсчитываемая от плоскости земного экватора, ...°;
 $\theta = 90^\circ - \varphi$ — полярный угол, ...°.

Перевод вектора из данной сферической системы координат в солнечно-магнитосферную осуществляют при помощи матрицы Q по формуле

$$\begin{pmatrix} B_{1X} \\ B_{1Y} \\ B_{1Z} \end{pmatrix} = Q \cdot \begin{pmatrix} B_{1r} \\ B_{1\theta} \\ B_{1\lambda} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

$$Q = T \cdot S, \quad (2)$$

где $B_{1r} = -Z'$; $B_{1\theta} = -X'$; $B_{1\lambda} = Y'$;

T — матрица поворота к солнечно-магнитосферным координатам;

S — матрица перевода из сферических в декартовы координаты;

$$T = \begin{pmatrix} \cos\beta_1 \cos\beta_2 & -\sin\beta_1 \cos\beta_2 & \sin\beta_2 \\ \sin\beta_1 \cos\beta_2 - \cos\beta_1 \sin\beta_2 \sin\beta_2 & \cos\beta_1 \cos\beta_2 + \sin\beta_1 \sin\beta_2 \sin\beta_2 & \cos\beta_2 \sin\beta_2 \\ -\sin\beta_1 \sin\beta_2 - \cos\beta_1 \sin\beta_2 \cos\beta_2 & -\cos\beta_1 \sin\beta_2 + \sin\beta_1 \sin\beta_2 \cos\beta_2 & \cos\beta_2 \cos\beta_2 \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$S = \begin{pmatrix} \sin\theta \cos\lambda & \cos\theta \cos\lambda & -\sin\lambda \\ \sin\theta \sin\lambda & \cos\theta \sin\lambda & \cos\lambda \\ \cos\theta & -\sin\theta & 0 \end{pmatrix} \quad (4)$$

где $\beta_1 = K \cdot (UT - U_0)$ — западная долгота полуденного меридиана, ...°;

β_2 — угол между полуденным географическим меридианом и плоскостью $Y = 0$ в солнечно-магнитосферных координатах, ...°;

$$K = 15^\circ/\text{ч};$$

$$U_0 = 12 \text{ ч};$$

$$\cos\beta_2 = (\cos\alpha_1 + \sin\beta \sin\psi) / \cos\psi \cos\beta, \quad (5)$$

где $\alpha_1 = 11,0^\circ$ — угол наклона геомагнитного диполя к оси вращения Земли;

ψ — угол наклона геомагнитного диполя к плоскости, ортогональной линии Земля — Солнце, ...°;

β — склонение Солнца, ...°.

ПРИМЕР РАСЧЕТА СОСТАВЛЯЮЩИХ ВЕКТОРА ИНДУКЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Исходные данные:

точка с солнечно-магнитосферными координатами $X = -0,529 r_3$, $Y = 0,608 r_3$, $Z = 1,833 r_3$; дата — 1 января 1985 г.; всемирное время $UT = 10,6$ ч; параметры солнечного ветра: плотность протонов $n_p = 5 \cdot 10^8 \text{ м}^{-3}$, плотность α -частиц $n_\alpha = 2,5 \cdot 10^5 \text{ м}^{-3}$, скорость солнечного ветра $V = 4 \cdot 10^5 \text{ м/с}$.

Порядок вычислений:

1. По формуле (3) приложения 1 настоящего стандарта вычисляют матрицу T

$$T = \begin{pmatrix} 0,86 & 0,33 & -0,39 \\ -0,27 & 0,94 & 0,20 \\ 0,44 & -0,07 & 0,90 \end{pmatrix}.$$

2. Вычисление сферических координат точки осуществляют по формулам:

$$r = \sqrt{X_1^2 + Y_1^2 + Z_1^2}, \quad r_3;$$

$$\theta = \arccos(Z_1/r), \quad \dots^\circ;$$

$$\varphi = 90^\circ - \theta, \quad \dots^\circ;$$

$$\lambda = \arcsin(Y_1/r \sin\theta), \quad \dots^\circ,$$

где

$$\begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{pmatrix} = T^* \cdot \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}, \quad r_3,$$

T^* — транспонированная матрица T . Расчет дает

$$r = 12742,4 \text{ км};$$

$$\theta = 9,4^\circ;$$

$$\varphi = 80,6^\circ; \quad \lambda = 58^\circ.$$

3. По ГОСТ 25645.126—85 вычисляют составляющие вектора индукции магнитного поля \vec{B}_1 в сферической системе координат (приложение 3):

$$B_{1r} = -Z' = -7447,0 \text{ нТл};$$

$$B_{1\theta} = -X' = -944,5 \text{ нТл};$$

$$B_{1\lambda} = Y' = -202,8 \text{ нТл};$$

4. По формуле (4) приложения 1 настоящего стандарта вычисляют матрицу S :

$$S = \begin{pmatrix} 0,09 & 0,52 & -0,85 \\ 0,14 & 0,84 & 0,53 \\ 0,99 & -0,16 & 0 \end{pmatrix}$$

5. По формуле (1) приложения 1 настоящего стандарта вычисляют составляющие вектора индукции магнитного поля \vec{B}_1 в солнечно-магнитосферной системе координат:

$$B_{1X} = 1337,5 \text{ нТл};$$

$$B_{1Y} = -2991,0 \text{ нТл};$$

$$B_{1Z} = -6763,6 \text{ нТл}.$$

6. По формуле (2) настоящего стандарта вычисляют геоцентрическое расстояние до точки пересечения магнитопаузы линией Земля — Солнце r_1 :

$$r_1 = 10r_3.$$

7. По формуле (3) настоящего стандарта вычисляют угол наклона геомагнитного диполя к плоскости, ортогональной линии Земля — Солнце, ψ :

$$\sin\psi = 0,383;$$

$$\psi = 22,5^\circ.$$

8. По формулам (6) — (8) настоящего стандарта вычисляют составляющие вектора индукции магнитного поля \vec{B}_2 в солнечно-магнитосферной системе координат:

$$B_{2X} = 12,0 \text{ нТл};$$

$$B_{2Y} = -0,4 \text{ нТл};$$

$$B_{2Z} = -1,3 \text{ нТл}.$$

9. По формуле (1) настоящего стандарта вычисляют составляющие вектора индукции магнитного поля \vec{B}_m в солнечно-магнитосферной системе координат:

$$B_{mX} = 1349,5 \text{ нТл};$$

$$B_{mY} = -2991,4 \text{ нТл};$$

$$B_{mZ} = -6764,9 \text{ нТл}.$$

Примечание. Если исходная точка задана в сферической системе координат, то в п. 2 настоящего приложения вычисляют ее солнечно-магнитосферные координаты по формулам:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = T \cdot \begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{pmatrix},$$

где

$$X_1 = r \sin\theta \cos\lambda, \quad r_3;$$

$$Y_1 = r \sin\theta \sin\lambda, \quad r_3;$$

$$Z_1 = r \cos\theta, \quad r_2.$$

НЕРЕГУЛЯРНЫЕ ВАРИАЦИИ ИНДУКЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

1. Нерегулярные вариации вектора индукции магнитного поля магнитосферных токов, не учитываемые моделью, при магнитной буре составляют ~ 100 нТл, а в спокойное время ~ 10 нТл.

2. Нерегулярные вариации вектора индукции магнитного поля от ионосферных и продольных токов, также не учитываемые моделью, существенны на высотах до 1000 км и имеют значения порядка 50 нТл на геомагнитных широтах до 60 и свыше 80°, и 500 нТл — на широтах от 60 до 80°.

ПРИМЕР ПРОГРАММЫ ДЛЯ РАСЧЕТА СОСТАВЛЯЮЩИХ ВЕКТОРА
ИНДУКЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ \vec{B}_2

Входные параметры:

$XX(3)$ — солнечно-магнитосферные координаты точки в пространстве;

$R1$ — расстояние от Земли до точки пересечения магнитопаузы линией Земля — Солнце;

PSI — угол наклона геомагнитного диполя.

Выходные параметры: $B(3)$ — составляющие вектора индукции магнитного поля \vec{B}_2 .

```

0001      DIMENSION XX(3), B(3), F(8), G(3), H(8), Q(10)
0002      DATA S0, S1/—0.18, —2.51/, Q/8.52, —39.65, 1.25,
      *21.79, —17.87, 2.93, —2.98, 5.51, 0.21, —8.55/
      C
      C 1. ЗАДАНИЕ СОЛНЕЧНО-МАГНИТОСФЕРНЫХ КООРДИНАТ
      C    ТОЧКИ (В R3)
0003      DATA XX/—0.530, 0.609, 1.834/
      C
      C 2. ЗАДАНИЕ УГЛА НАКЛОНА ГЕОМАГНИТНОГО ДИПОЛЯ,
      C    РАССЧИТАННОГО НА ЗАДАННЫЙ ДЕНЬ ПО ФОРМУЛЕ (3)
0004      PSI=22.5258
      C
      C 3. ЗАДАНИЕ ГЕОЦЕНТРИЧЕСКОГО РАССТОЯНИЯ (В R3),
      C    РАССЧИТАННОГО ПО ФОРМУЛЕ (2)
0005      R1=10.
      C
0006      PS=PSI/10.
0007      PSY=PSI*3.1415926/180.
0008      SP=SIN(PSY)
0009      CP=COS(PSY)
0010      F(1)=Q(1)*SP

```

```

0011      F(2) = Q(2) * SP * CP
0012      F(3) = Q(3) * SP
0013      F(4) = Q(4) * CP * CP + Q(5) * SP * SP
0014      F(5) = Q(6) * CP
0015      F(6) = Q(7) * CP * CP + Q(8) * SP * SP
0016      F(7) = Q(9) * CP
0017      F(8) = Q(10) * SP * CP
0018      G(1) = SO * CP
0019      G(2) = S1
0020      G(3) = SO * CP
0021      H(1) = -Q(1) * CP
0022      H(2) = -Q(4) * SP * SP - Q(5) * CP * CP
0023      H(3) = -Q(3) * CP
0024      H(4) = -Q(2) * CP * SP
0025      H(5) = Q(6) * SP
0026      H(6) = Q(10) * CP * SP
0027      H(7) = Q(9) * SP
0028      H(8) = Q(7) * SP * SP + Q(8) * CP * CP
0029      X = XX(1) / R1
0030      Y = XX(2) / R1
0031      Z = XX(3) / R1
0032      B(1) = F(1) + X * F(2) + Y * F(3) + Z * F(4) + PS * (F(5) + X * F(6)
* + Y * F(7) + Z * F(8))
0033      B(2) = PS * (X * G(1) + Y * G(2) + Z * G(3))
0034      B(3) = H(1) + X * H(2) + Y * H(3) + Z * H(4) + PS * (H(5) + X * H(6)
* + Y * H(7) + Z * H(8))
0035      PRINT 200, XX, R1, PSI, B
0036      200 FORMAT (//, 16X, 'X', 9X, 'Y', 9X, 'Z', 9X, 'R1', 7X,
* 'PSI', 8X, 'BX', 8X, 'BY', 8X, 'BZ', //, 10X, 8F10.4)
0037      STOP
0038      END

```

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ

1. УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 14.11.85 № 3609

РАЗРАБОТЧИКИ СТАНДАРТА

И. И. Алексеев, канд. физ.-мат наук; А. В. Баюков, канд. техн. наук; Е. С. Беленькая, канд. физ.-мат. наук; Н. П. Бенькова, д-р физ.-мат. наук; Ю. А. Винтенко, канд. техн. наук; А. Н. Герасимов; В. П. Головков, д-р физ.-мат. наук; Е. В. Горчаков, д-р физ.-мат. наук; М. С. Григорян; И. П. Иваненко, д-р физ.-мат. наук; В. В. Калегаев; Г. И. Коломийцева, канд. физ.-мат. наук; А. П. Кропоткин, д-р физ.-мат. наук; Е. Н. Лесновский, канд. техн. наук; В. М. Ломакин, канд. техн. наук; Ю. Г. Лютов; В. В. Мигулин, чл.-кор. АН СССР; Л. И. Мирошниченко, канд. физ.-мат. наук; В. Н. Никитинский; М. И. Панасюк, д-р физ.-мат. наук; И. Я. Ремизов, канд. техн. наук; В. И. Степакин, канд. техн. наук; Л. Н. Степанова; И. Б. Теплов, д-р физ.-мат. наук; М. В. Терновская, канд. физ.-мат. наук; В. В. Хаустов, канд. техн. наук

2. СОГЛАСОВАНО с Государственной службой стандартных справочных данных (протокол от 16.06.85 № 18)
3. Срок первой проверки 1989 г.
Периодичность проверки — 5 лет.
4. ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ
5. ССЫЛОЧНЫЕ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ДОКУМЕНТЫ

Обозначение НТД, на который дана ссылка	Номер пункта, приложения
ГОСТ 25645.126—85	1.4, приложения 1,2
ГОСТ 25645.136—86	2.2

6. ПЕРЕИЗДАНИЕ (апрель 1990 г.) с Изменением № 1, утвержденным в сентябре 1989 г. (ИУС 12 1989)

Редактор *И. В. Виноградская*
Технический редактор *М. И. Максимова*
Корректор *Н. Л. Шнайдер*

Сдано в наб. 16.11.89 Подп. в печ. 28.06.90 0,75 усл. п. л. 0,75 усл. кр.-отт. 0,63 уч.-изд. л.
Тир. 5000 Цена 3 к.

Ордена «Знак Почета» Издательство стандартов, 123557, Москва, ГСП, Новопресненский пер., 3
Тип. «Московский печатник», Москва, Лялин пер., 6. Зак. 1399